饲用甜高粱裹包青贮料对肉羊生产性能及血清指标的影响

张 霞[1,2] 王虎成[1,2*] 付晓悦[1,2] 侯明杰[1,2] 尚占环[3]

（1.兰州大学农业部草牧业创新重点实验室，兰州 730020；2.兰州大学草地农业科技学院，草地农业生态系统国家重点实验室，兰州 730020；3.兰州大学生命科学学院，兰州 730000）

摘 要：本试验旨在研究饲用甜高粱裹包青贮料对肉羊生产性能及血清指标的影响，以评价饲用甜高粱裹包青贮料对肉羊的饲喂效果。试验选取 3～4 月龄小尾寒羊[（25.70±1.50）kg]和杜泊羊[（33.40±1.68） kg]母羊各 14 只作为供试动物，根据饲粮中粗饲料不同将其分为杜泊羊甜高粱青贮组(DG 组，*n*=7)、杜泊羊玉米青贮组(DY 组，*n*=7)、小尾寒羊甜高粱青贮组(HG 组，*n*=7)和小尾寒羊玉米青贮组(HY 组，*n*=7)。饲养试验为期 3 个月，并于试验第 30 天、第 60 天和第 90 天早晨称重及采集血液。结果表明：1）玉米青贮组（DY 组+HY 组，*n*=14）的平均日采食量（ADFI）和平均日增重（ADG）极显著高于甜高粱青贮组（DG 组+HG 组，*n*=14）（*P*<0.01）。2）试验期内杜泊羊组（DG 组+DY 组，*n*=14）的血清总抗氧化能力(T-AOC)显著高于小尾寒羊组（HG 组+HY 组，*n*=14）（*P*<0.05）；在试验第 60 天，杜泊羊组血清丙二醛（MDA）含量显著低于小尾寒羊组（*P*<0.05）；在试验第 90 天，甜高粱青贮组的血清超氧化物歧化酶（SOD）活性显著高于玉米青贮组（*P*<0.05）；在试验第 90 天，HY 组的血清 MDA 含量显著高于 DY 组和 HG 组（*P*<0.05）；甜高粱青贮组的血清 SOD 活性在试验第 60 天你和第 90 天显著高于试验第 30 天（*P*<0.05）。3）血清尿素氮(UN)含量以及谷丙转氨酶(GPT)、碱性磷酸酶(AKP)活性分别在试验第 60 天、第 90 天、第 60 天存在显著的品种效应（*P*<0.05）；血清β-羟丁酸（BHBA）含量及谷草转氨酶（GOT）、AKP 活性分别在试验第 90 天、第 30 天与第 90 天、

收稿日期：2017-11-01
基金项目：甘肃省重大科技专项（1502NKDA005-3）
作者简介：张 霞（1992-)，女，甘肃定西人，硕士研究生，动物营养与饲料科学专业。E-mail: zhangx2016@lzu.edu.cn
*通信作者：王虎成，副教授，硕士生导师，E-mail: wanghuch@lzu.edu.cn

第 60 天存在显著的处理效应（$P<0.05$）；HY 组的血清 GOT 和 AKP 活性在试验第 90 天显著高于试验第 30 天（$P<0.05$）。综上，饲喂含玉米裹包青贮料饲粮的肉羊的生产性能优于饲喂含饲用甜高粱裹包青贮料饲粮的肉羊，但青贮料长期育肥肉羊存在安全风险，而饲用甜高粱裹包青贮料较玉米裹包青贮料有利于提高肉羊肝脏健康、降低“高血脂”及机体酮症酸中毒等疾病的几率，进而降低安全风险。

关键词：饲用甜高粱；玉米；裹包青贮；肉羊；生产性能；血清指标

中图分类号：S816　　文献标识码：A　　文章编号：

甜高粱具有抗旱、耐涝、耐盐碱、生长迅速、糖分积累快、生物产量高等优点，在多数半干旱地区都可以生长，在干旱条件下，其生物产量比青贮玉米高 0.5～1.0 倍，被誉为“高能作物”[1-3]。近些年来，甜高粱在我国西北干旱区被广泛种植，并在动物养殖中得到了一定的应用[4-9]。然而，动物在采食幼嫩甜高粱时，时有中毒现象发生，尽管这与其品种、加工调制、饲喂技术等息息相关，但对其草产品的应用产生了一定的负面效应。此外，在草牧业生产实践中，为缓解饲草供给压力、延长使用时间、降低有害成分等，青贮调制技术被广泛应用。拉伸膜裹包技术是当今世界最先进的青贮技术，成品不仅运输便捷，而且市场流通迅速，已在国内外广泛应用[10-14]。饲用甜高粱作为新型牧草资源，其裹包青贮在一些牧草企业被大量生产，但是因该类裹包青贮在肉羊育肥中的安全性及科学饲喂问题均未做系统研究，其在肉羊养殖应用中受到了一定限制。此外，本研究区陇中黄土高原丘陵沟壑区大力发展肉羊产业，先后引进小尾寒羊、杜泊羊等肉羊品种[15]，这些肉羊品种体现了各自对所处环境的适应特点，如杜泊羊具有母羊产羔率高，羔羊早期生长发育快及胴体质量好等特点；小尾寒羊具有高繁、耐粗饲、适应干燥气候等特性，因而被广大养殖所认可。但围绕新型饲草甜高粱裹包青贮饲喂这些肉羊的育肥效果及健康状况目前未见系统研究报道。为此，本研究分别以饲用甜高粱青贮料和玉米裹包青贮料为主要粗饲料，辅以精

料补充料育肥，通过测定其育肥性能及血清指标，探究饲用甜高粱裹包青贮料育肥肉羊的健康状况及生产性能，为饲用甜高粱在肉羊养殖中的科学应用积累数据。

1 材料与方法

1.1 试验饲粮

饲用甜高粱裹包青贮料购自甘肃省机械研究院，玉米裹包青贮料和苜蓿颗粒购自甘肃民祥牧草有限公司。其中，玉米裹包青贮料为揉丝处理，甜高粱裹包青贮料为横截式铡短处理。上述 3 种粗饲料的养分含量见表 1。精料补充料组成及营养水平见表 2。

1.2 试验动物及管理

饲养试验于 2016 年 7 月至 2016 年 10 月在甘肃省定西市祥泰养殖场进行。选取 3～4 月龄小尾寒羊[体重为（25.70±1.50） kg]和杜泊羊[体重为（33.40±1.68） kg]母羊各 14 只作为供试动物。根据所饲喂饲粮中粗饲料不同将其分为杜泊羊甜高粱青贮组(DG 组，*n*=7)、杜泊羊玉米青贮组(DY 组，*n*=7)、小尾寒羊甜高粱青贮组(HG 组，*n*=7)和小尾寒羊玉米青贮组(HY 组，*n*=7)。对不同品种比较时，DG 组与 HG 组合并为高粱青贮组（*n*=14），DY 组与 HY 组合并为高粱青贮组（*n*=14）；对不同处理（饲喂何种青贮料）比较时，DG 组与 DY 组合并为杜泊羊组（*n*=14），HG 组与 HY 组合并为小尾寒羊组（*n*=14）。

试验羊单栏饲养，自由饮水。试验为期 3 个月，并于试验第 30 天、第 60 天和第 90 天采集血液并称重。试验期间饲粮由青贮料、苜蓿颗粒和精料补充料构成，其中青贮料自由采食，苜蓿颗粒和精料补充料分别按动物体重的 1.0%和 0.5%投喂，两者搅拌混匀后于每天 07:30 和 17:30 分 2 次等量投喂。

表 1 粗饲料养分含量

Table 1 Roughage nutrient contents （g/kg DM）

项目 Items	玉米裹包青贮料 Packaging corn silage	饲用甜高粱裹包青贮料 Packaging forage sweet sorghum silage	苜蓿颗粒 Alfalfa granule
有机物 Organic matter	936.8	930.5	887.8
粗蛋白质 Crude protein	41.7	37.3	84.0

中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber	557.0	672.5	620.6
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber	339.0	416.1	424.8
淀粉 Starch	81.3	18.0	20.1
木质素 Lignin	19.0	32.2	79.9

表 2 精料补充料组成及营养水平（干物质基础）

Table 2 Composition and nutrient levels of the concentrate supplement （DM basis）

原料 Ingredients	含量 Content/%	营养水平 Nutrient levels2)	含量 Content/（g/kg DM）
玉米 Corn	41.0	消化能 Digestible energy(MJ/kg)2)	14.0
麸皮 Wheat bran	10.0	有机物 Organic matter	873.7
大豆粕 Soybean meal	32.0	粗蛋白质 Crude protein	159.3
菜籽粕 Corn gluten meal	5.0	中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber	191.4
膨化尿素 Extruded urea	1.0	酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber	83.9
石粉 Stone powder	1.0	钙 Calcium	5.6
食盐 NaCl	2.0	磷 Phosphorus	4.8
预混料 Premix1)	8.0		
合计 Total	100		

1)预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of the diet:VA 83 000 IU，VD 9 000 IU，VE 63 IU，VB_1 120 mg，烟酰胺 nicotinamide 500 mg，Fe 1810 mg，Cu 415 mg，Zn 1 125 mg，Mn 958 mg，Se 6.3 mg，I 38 mg，Co 7.5 mg。

2)消化能为计算值[16], 其余为实测值。Digestible energy was a calculated value[16], while the others were measured values.

1.3 测定指标及方法

1.3.1 生产性能指标

平均日增重(ADG):试验开始时及试验第 30 天、第 60 天、第 90 天对试验羊称重，计算各组平均日增重。

平均日采食量(ADFI):在试验期内，每天 07：30 准确记录试验羊的给料量、剩料量，计算平均日采食量。

料重比(F/G):平均日采食量和平均日增重之比即为料重比。

1.3.2 血清指标

分别于试验第 30 天、第 60 天和第 90 天晨饲前颈静脉采血 10 mL，立即于 3 000 r/min 离心 15 min，分离血清并分装于 1.5 mL 离心管中，-20 ℃冷藏，用于相关血清指标的检测。血清尿素氮（UN）、总胆固醇(T-CHO)、β-羟丁酸(BHBA)、肌酐（CR）含量，谷草转氨酶（GOT）、谷丙转氨酶（GPT）、碱性磷酸酶（AKP）、超氧化物歧化酶(SOD)活性，丙二醛(MDA)含量和总抗氧化能力(T-AOC)采用 Gen5 型酶标仪，严格按照试剂盒说明书测定，试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

1.4 数据统计与分析

采用 Excel 2010 对数据进行初步整理，采用 SPSS 19.0 统计软件进行方差分析，并采用 LSD 法进行组间多重比较。结果用平均值±标准差表示，以 $P≤0.05$ 为差异显著性判断标准，$P<0.01$ 为差异极显著性判断标准。

2 结 果

2.1 饲用甜高粱裹包青贮料对肉羊生产性能的影响

由表 3 可知，试验各阶段，玉米青贮组的平均日采食量均极显著高于甜高粱青贮组（$P<0.01$），且杜泊羊组的平均日采食量均极显著高于小尾寒羊组（$P<0.01$）；试验各阶段，玉米青贮组的平均日增重极显著高于甜高粱青贮组（$P<0.01$）；在试验第 30 天和第 90 天，玉米青贮组的料重比显著低于甜高粱青贮组（$P<0.05$）。试验第 60 天和第 90 天，平均日采食量均以 DY 组最高，且显著高于其他各组（$P<0.05$）；DG 组和 HY 组次之，均显著高于 HG 组（$P<0.05$）。

表 3 饲用甜高粱裹包青贮料对肉羊生产性能的影响

Table 3 Effects of packaging forage sweet sorghum silage on performance of mutton sheep

项目 Items	时间 Time/d	组别 Groups				P 值 P-value		
		DG	DY	HG	HY	品种 Breed	处理 Treatment	品种×处理 Breed×treatment
平均日采食量 ADFI/(kg/d)	1～30	0.91±0.82	1.04±1.17	0.71±1.45	0.84±1.10	<0.01	<0.01	0.96
	31～60	1.04±0.44[b]	1.13±0.18[c]	0.88±0.83[a]	1.03±0.79[b]	<0.01	<0.01	0.01
	61～	1.06±0.34[b]	1.15±0.10[c]	0.89±0.08[a]	1.06±0.07[b]	<0.01	<0.01	0.01

	90							
平均日增重 ADG/(kg/d)	1～30	0.11±0.01	0.17±0.01	0.10±0.02	0.17±0.01	0.38	<0.01	0.14
	31～60	0.12±0.01	0.20±0.02	0.11±0.01	0.19±0.01	0.74	<0.01	0.74
	61～90	0.09±0.01	0.15±0.02	0.09±0.01	0.14±0.01	0.47	<0.01	0.92
料重比 F/G	1～30	8.33±0.80	7.22±0.85	6.86±1.09	5.79±0.54	0.13	0.04	0.53
	31～60	7.27±1.03	6.00±0.54	6.58±0.19	5.28±0.27	0.41	0.14	0.39
	61～90	11.62±1.12	7.70±0.09	8.29±0.91	7.70±0.65	0.09	0.03	0.09

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，同列同一指标数据肩标不同大写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。

Values with different small letter superscripts in the same row mean significant difference (P<0.05), and values with different small letter superscripts in the same column within the same index mean significant difference (P<0.05). The same as below.

2.2 饲用甜高粱裹包青贮料对肉羊血清抗氧化指标的影响

由表 4 可知，试验期内所有试验羊的血清 SOD 活性、T-AOC 和 MDA 含量分别介于 79.43～118.44 U/mL、0.20～0.35 U/mL 和 4.07～5.17 nmol/mL。在试验第 30 天、第 60 天和第 90 天，血清 T-AOC 均存在显著的品种效应（P<0.05）；在试验第 60 天，血清 MDA 含量存在显著的品种效应（P<0.05）；在试验第 90 天，血清 SOD 活性存在显著的处理效应（P<0.05）。在试验第 30 天，HY 组的血清 MDA 含量显著高于 DY 组和 HG 组（P<0.05），其他各组间差异不显著（P>0.05）。DG 组和 HG 组试验羊血清 SOD 活性在试验第 60 天和第 90 天显著高于试验第 30 天（P<0.05）；DG 组和 HG 组试验羊血清 T-AOC 在试验第 90 天显著高于试验第 30 天和第 60 天（P<0.05），而 HY 组则表现为试验第 30 天和第 90 天显著高于试验第 60 天（P<0.05）。

表 4 饲用甜高粱裹包青贮料对肉羊血清抗氧化性能指标的影响

Table 4 Effects of packaging forage sweet sorghum silage on serum antioxidant indexes of mutton sheep

项目 Items	时间 Time	组别 Groups				P 值 P-value		
		DG	DY	HG	HY	品种 Breed	处理 Treatment	品种×处理 Breed×treatment

总抗氧化能力 T-AOC/ (U/mL)	第 30 天 Day 30	0.26±0.01^{A}	0.29±0.02	0.23±0.01^{A}	0.23±0.03^{B}	0.05	0.37	0.64
	第 60 天 Day 60	0.25±0.02^{A}	0.27±0.03	0.23±0.02^{A}	0.20±0.02^{A}	0.03	0.56	0.21
	第 90 天 Day 90	0.35±0.03^{B}	0.33±0.01	0.29±0.03^{B}	0.28±0.02^{B}	0.03	0.51	0.75
超氧化物歧化酶 SOD/ (U/mL)	第 30 天 Day 30	79.43±3.44^{A}	89.05±6.06	84.32±6.71^{A}	91.96±6.98	0.80	0.25	0.79
	第 60 天 Day 60	102.95±9.79^{B}	104.58±7.08	118.44±6.13^{B}	85.16±7.30	0.25	0.07	0.12
	第 90 天 Day 90	107.89±3.62^{B}	95.89±7.26	113.05±2.16^{B}	88.04±5.60	0.10	0.03	0.82
丙二醛 MDA/ (nmol/mL)	第 30 天 Day 30	4.81±0.29^{ab}	4.17±0.25^{a}	4.13±0.25^{a}	5.06±0.46^{b}	0.25	0.19	<0.01
	第 60 天 Day 60	4.07±0.27	4.24±0.22	5.09±0.50	4.83±0.36	0.05	0.49	0.94
	第 90 天 Day 90	4.49±0.22	4.75±0.14	5.17±0.17	4.70±0.29	0.15	0.64	0.10

2.3 饲用甜高粱裹包青贮料对肉羊血清生化指标的影响

由表 5 可知，试验期内所有试验羊的血清 UN、T-CHO、BHBA 和 CR 含量以及 GOT、GPT 和 AKP 活性分别介于 2.78～5.84 mmol/L、1.74～2.68 mmol/L、0.30～0.57 mmol/L、567.37～575.11 μmol/L、5.12～13.89 U/L、8.72～14.72 U/L 和 246.18～449.65 U/L。血清 UN 含量及 GPT、AKP 活性分别在试验第 60 天、第 90 天、第 60 天存在显著的品种效应（P<0.05）；血清 BHBA 含量及 GOT、AKP 活性分别在试验第 90 天、第 30 天与第 90 天、第 60 天存在显著的处理效应（P<0.05）。在试验第 30 天，DY 组的血清 BHBA 含量显著高于其他各组（P<0.05），其他各组间差异不显著（P>0.05）。各组的血清 UN 含量在试验第 90 天显著低于试验第 30 天和第 60 天（P<0.05）；DY 组的血清 T-CHO 含量在试验第 90 天显著高于试验第 30 天和第 60 天（P<0.05），HG 组的血清 GOT 活性在试验第 60 天显著高于试验第 30 天和第 90 天（P<0.05），HY 组的血清 GOT 和 AKP 活性在试验第 90 天显著高于试验第 30 天（P<0.05）。

表 5 饲用甜高粱裹包青贮料对肉羊血清生化指标的影响

Table 5 Effects of packaging forage sweet sorghum silage on serum biochemical indexes of mutton sheep

项目 Items	时间 Time	组别 Groups	*P* 值 *P* –value

		DG	DY	HG	HY	品种 Breed	处理 Treatment	品种×处理 Breed× treatment
尿素氮 /UN (mmol/L)	第 30 天 Day 30	5.48±0.43[B]	5.35±0.19[B]	5.47±0.40[B]	4.66±0.22[B]	0.30	0.17	0.31
	第 60 天 Day 60	5.84±0.25[B]	5.42±0.30[B]	5.04±0.35[B]	4.33±0.30[B]	0.01	0.08	0.64
	第 90 天 Day 90	2.96±0.16[A]	2.78±0.15[A]	2.78±0.14[A]	2.85±0.18[A]	0.60	0.43	0.31
总胆固醇 T-CHO/ (mmol/L)	第 30 天 Day 30	1.92±0.13	1.74±0.18[A]	2.02±0.21	2.30±0.17	0.08	0.78	0.19
	第 60 天 Day 60	2.10±0.14	2.13±0.07[A]	2.24±0.11	1.80±0.20	0.51	0.16	0.11
	第 90 天 Day 90	2.41±0.29	2.68±0.23[B]	2.43±0.15	2.28±0.28	0.44	0.82	0.41
β-羟丁酸 BHBA/ (mmol/L)	第 30 天 Day 30	0.38±0.05[a]	0.57±0.03[b]	0.35±0.03[a]	0.39±0.02[a]	0.10	0.06	0.03
	第 60 天 Day 60	0.31±0.06	0.54±0.07	0.41±0.08	0.45±0.05	0.59	0.18	0.09
	第 90 天 Day 90	0.41±0.03	0.52±0.10	0.30±0.02	0.45±0.05	0.12	0.03	0.74
肌酐 CR/ (μmol/L)	第 30 天 Day 30	567.37±3.27	572.94±1.60	572.47±3.00	575.11±1.94	0.15	0.14	0.50
	第 60 天 Day 60	568.64±2.56	572.92±2.29	569.66±2.57	575.09±4.32	0.61	0.13	0.85
	第 90 天 Day 90	569.71±1.17	570.51±2.05	573.32±1.34	571.15±1.26	0.17	0.65	0.33
谷草转氨酶 GOT/ (U/L)	第 30 天 Day 30	5.12±1.06	7.65±0.75	6.85±1.12[A]	8.28±0.44[A]	0.27	0.03	0.65
	第 60 天 Day 60	9.42±2.12	9.52±1.20	11.92±1.79[B]	11.22±1.56[AB]	0.23	0.86	0.82
	第 90 天 Day 90	5.92±1.45	6.92±0.29	6.21±1.71[A]	13.89±1.80[B]	0.10	0.04	0.14

谷丙转氨酶 GPT/ (U/L)	第 30 天 Day 30	8.72±1.64	10.51±1.59	11.13±0.89	12.49±0.93	0.92	0.40	0.86
	第 60 天 Day 60	12.76±1.57	13.14±1.31	13.90±1.38	11.44±1.24	0.84	0.46	0.32
	第 90 天 Day 90	8.75±0.46	10.88±2.01	14.72±1.16	12.59±1.96	0.04	0.67	0.08
碱性磷酸酶 AKP/ (U/L)	第 30 天 Day 30	306.74±34.08	246.18±13.80	374.43±40.29	270.92±5.82^{A}	0.09	0.28	0.78
	第 60 天 Day 60	350.74±21.48	248.17±15.46	392.93±23.27	357.00±17.22^{AB}	0.03	0.04	0.95
	第 90 天 Day 90	377.44±64.25	264.95±18.59	449.65±31.81	400.59±56.87^{B}	0.38	0.48	0.70

3 讨 论

3.1 饲用甜高粱裹包青贮料对肉羊生产性能的影响

本试验条件下，2种青贮料对育肥期不同品种肉羊生产性能的影响存在显著差异。除品种差异外，造成这一差异的原因还与饲粮的原料构成及加工调制等因素息息相关。正如表1所示，试验所选用的玉米裹包青贮料的淀粉含量约为饲用甜高粱裹包青贮料的4倍，饲用甜高粱裹包青贮料的中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量约为玉米裹包青贮料的1.2倍，因此玉米裹包青贮料有利于提高肉羊对饲料的适口性、消化率，这可能是造成甜高粱青贮组采食量较低及育肥效果较差的主要原因之一。此外，本试验中（第31～60天）、后期（第61～90天）杜泊羊的采食量高于小尾寒羊，一方面可能由于相同日龄杜泊羊发育快速、个体相对较大，另一方面可能是由于杜泊羊对饲粮的消化利用能力优于小尾寒羊[17]。总之，杜泊羊的采食量和增重优于小尾寒羊，且饲喂含玉米裹包青贮料饲粮的肉羊的生产性能优于饲喂含饲用甜高粱裹包青贮料饲粮的肉羊。

3.2 饲用甜高粱裹包青贮料对肉羊抗氧化能力的影响

机体防御体系的抗氧化能力强弱与健康程度密切相关，该防御体系有酶促和非酶促2个

体系[18]。SOD是酶促体系中重要的抗氧化酶，维持着体内自由基生成和清除的平衡，防止氧化应激对细胞产生损伤[19]，因此血清SOD活性的高低能够间接反映机体清除氧自由基的能力。MDA是自由基攻击生物膜中的多不饱和脂肪酸引发的脂质过氧化作用的最终分解产物[20]，它可以引发膜脂和膜蛋白交联，影响膜蛋白的活性，使细胞出现各种功能障碍。所以，测定血清中MDA的含量能够反映机体内脂质过氧化的程度，从而间接地反映细胞的损伤程度[21]。同时，血清中MDA含量的高低又间接反映了机体细胞受自由基攻击的严重程度。一般MDA含量和SOD活性的测定是相互配合的，通过分析测定结果，有助于及时了解机体的健康状况。T-AOC是反映机体抗氧化能力的综合指标，是体内酶系和非酶系共同作用的结果[22]。因此，本试验通过测定血清中的SOD活性、T-AOC和MDA含量来反映饲用甜高粱裹包青贮料对机体氧化-抗氧化状态的影响。汇总文献[23-26]后发现，绵羊血清中的SOD活性、T-AOC和MDA含量分别为56～136 U/mL、0.1～0.7 U/mL和2.0～6.0 nmol/mL，本试验中各指标均介于该范围内。此外，同一品种肉羊在饲喂不同青贮料饲粮时，随着饲喂时间的增长，无论杜泊羊还是小尾寒羊，甜高粱青贮组血清SOD活性均显著增加，而玉米青贮组则无显著变化，且杜泊羊甜高粱青贮组的血清T-AOC亦有相同的变化趋势，这表明饲用甜高粱裹包青贮料有助于提高试验动物的抗氧化能力，且高产性品种（杜泊羊）的正效应更明显。此外，在试验第90天时，甜高粱青贮组血清SOD活性具有显著的正效应。其可能的原因是饲用甜高粱本身叶肉中黄酮、维生素C含量高，叶脉中SOD活性强，且研究发现甜高粱各品种及不同部位抗氧化物质含量在发育中后期达到最大值[27]。

3.3 饲用甜高粱裹包青贮料对肉羊血清生化指标的影响

血清生化指标是反映动物营养物质消化代谢、机体内环境平衡、机体健康状况的综合指标。血清生化指标主要包括血清中的一些酶和蛋白质等，机体细胞通透性的改变以及某些组织器官机能发生改变都可以通过血清生化指标的变化来体现[28]。汇总文献[23-26]后发现，本试验测定的血清生化指标均在报道范围内。

血清UN是蛋白质代谢的主要产物，是机体对蛋白质代谢机能的反映[29]。Scott等[30]指出，血清UN含量可较准确地反映动物体内蛋白质代谢情况，通常较低的血清UN含量表明氨基酸平衡较好，机体蛋白质合成率较高[31]。此外，血清UN含量与饲料中粗蛋白质、氨基酸的含量与质量有密切联系，其含量与体内氮沉积率、粗蛋白质或氨基酸利用率存在负相关的关系[32]。本研究中血清中UN含量存在显著的时间效应，表明饲喂期的延长有利于提高蛋白质的合成率；且在试验第60天时，小尾寒羊的血清UN含量较杜泊羊低，这与采食量的变化一致，原因可能是采食量的降低使得小尾寒羊蛋白质原料摄入量不足。

胆固醇存在于动物的所有组织中，血液和肌肉中胆固醇含量有很强关联性，血液中的胆固醇主要来自外源性吸收和内源性合成[33]。血清T-CHO含量是反映机体脂质代谢状况正常与否的一个重要指标[34]。血清中T-CHO的含量反映了机体脂质代谢状况，若肝细胞功能受损，血液中胆固醇的含量则会上升，形成所谓的“高血脂”[35]。此外，胆固醇是细胞膜和血浆脂蛋白的重要组成成分，其存在于机体的所有组织中，是动物体内一种不可或缺的脂类物质，胆固醇含量过高时会产生动脉硬化，不利于机体健康。本试验条件下，血清T-CHO含量均不存在显著的品种及处理效应，但各组的血清T-CHO含量在试验结束时高于开始时，且杜泊羊玉米青贮组存在显著的时间效应。这表明使用青贮料长期育肥肉羊存在“高血脂”风险，且玉米裹包青贮料较甜高粱裹包青贮料的风险性更大。

BHBA是血液中酮体的主要成分（占78%），可反映血液中酮体生成情况；酮症酸中毒时，血液中BHBA含量增高远大于丙酮和乙酰乙酸，故是酮症酸中毒时较敏感的一个标志物。本研究发现，在试验第90天时，血清BHBA含量处理效应显著，表现为甜高粱青贮组显著低于玉米青贮组，表明饲喂含饲用甜高粱裹包青贮料的饲粮可降低动物机体酮症酸中毒的几率。

血液中的CR是肌肉在动物体内代谢的产物，血液及尿液CR的含量相对恒定，且血液中CR含量的高低主要取决于肾脏排出CR的多少。本试验条件下，各组血清CR含量处于正

常范围，且各效应均不显著，这符合已有研究报道之规律[36]。

GOT和GPT在非必需氨基酸和蛋白质的分解过程中起着重要的中介作用，是动物体内重要的转氨酶[37]。血清中GOT和GPT活性是反映动物机体肝脏合成蛋白质能力和肝功能的重要指标，当动物肝功能受到损伤时，会导致血液中转氨酶活性升高，在健康状况下，饲粮营养水平并不引起转氨酶活性的变化。本试验条件下，甜高粱青贮组的血清GOT活性显著低于玉米青贮组，且小尾寒羊甜高粱青贮组在3个试验时间点均存在先增后减的变化趋势，然而小尾寒羊玉米青贮组后期显著高于前期，表明饲用甜高粱裹包青贮料相较玉米裹包青贮料更有利于肉羊的肝脏健康。

AKP是一种非特异性磷酸单酯酶，也是一种同工酶，能催化磷酸单酯的水解反应，产生无机磷酸和相应的醇、酚或糖，也能催化磷酸基团的转移反应[38]。血清中的AKP主要来自肝脏和骨骼，AKP主要用于阻塞性黄疸、原发性肝癌、继发性肝癌、胆汁淤积性肝炎的诊断。患这些疾病时，肝细胞过度制造AKP，经淋巴道和肝窦进入血液，同时由于肝内胆道胆汁排泄障碍，反流入血而引起血清AKP活性明显升高[39]。国内外研究一致认为骨型AKP是反映骨改变全过程最合适的指标，其特异性、灵敏度及准确性优于其他物质[40]。一般而言，较高水平的AKP活性对动物机体主要是骨骼的发育和钙、磷的代谢有重要的影响作用[41]。本试验条件下，随着饲喂时间的延长，各组血清AKP活性呈现直线增加的趋势，且小尾寒羊玉米青贮组试验后期显著高于前期，表明玉米裹包青贮料长期饲喂对机体肝脏健康和骨骼钙、磷代谢更为敏感。

由上可知，与玉米裹包青贮料相比，饲用甜高粱裹包青贮料有利于肉羊肝脏健康，降低“高血脂”及动物机体酮症酸中毒等疾病的发生几率，从而降低安全风险。因此，饲用甜高粱裹包青贮料可用于肉羊育肥生产，但此饲喂模式对肉羊瘤胃机能、肉品质的影响，以及围绕甜高粱品种繁育、饲草加工及饲料组合效应的研究有待进一步开展。

4 结 论

① 饲喂含玉米裹包青贮料饲粮的肉羊的生产性能优于饲喂含饲用甜高粱裹包青贮料饲粮的肉羊。

② 青贮长期育肥肉羊存在安全风险，与玉米裹包青贮料相比，饲用甜高粱裹包青贮料有利于肉羊肝脏健康，降低“高血脂”及动物机体酮症酸中毒等疾病的发生几率，从而降低安全风险。

参考文献：

[1] 王永慧,陈建平,张培通,等.甜高粱和玉米青贮质量及其对奶牛的饲喂效果[J].安徽农业科学,2015,43(14):127–128.

[2] 陆水怡,李南珠,邹剑秋,等.甜高粱的生物学特性、研究现状与开发应用前景[J].江苏农业科学,2009(3):11–13.

[3] 刘公社,周庆源,宋松泉,等.能源植物甜高粱种质资源和分子生物学研究进展[J].植物学报,2009,44(3):253–261.

[4] 朱翠云.甜高粱—大有发展前途的作物[J].园艺与种苗,1999,19(2):29–32.

[5] 李兵.初产母羊补饲青贮甜高粱秸秆的生产性能试验[J].新疆农业科学,2001(S1):214–215.

[6] 李春喜,冯海生,李永仁,等.青贮甜高粱与青贮玉米饲喂奶牛、羊及奶品质的比较研究[J].青海农林科技,2014(2):8–11.

[7] 张元来,白晶晶.青贮甜高粱与玉米秸秆饲喂肉牛效果研究[J].中国牛业科学,2014(5):35–36.

[8] 宋金昌,范莉,牛一兵,等.不同甜高粱品种生产与奶牛饲喂特性比较[J].草业科学,2009,26(4):74–78.

[9] DI MARCO O N,RESSIA M A,ARIAS S,et al.Digestibility of forage silages from grain,sweet and BMR sorghum types:comparison of *in vivo*,*in situ* and *in vitro* data[J].Animal Feed Science and Technology,2009,153(3/4):161–168.

[10] 沈文琳.机械化青贮裹包技术推广的现状和对策[J].草业机械化,2005(1):36–37.

[11] 沙文锋,朱娟,姜慧锋.稻草拉伸膜裹包青贮效果分析[J].农产品加工,2010(3):79–80.

[12] 李荣侠.全株玉米窖贮与拉伸膜裹包青贮的比较研究[J].当代畜牧,2010(1):31–32.

[13] FÉRARD A,JOURNAUX J,MESLIER E,et al.Effect of harvest period of maize silage and the content of wrapped grass silage on the production of dairy cows[C]//Rencontres Recherche Ruminants.[S.l.]:[s.n.],2014.

[14] THEODORIDOU K,AUFRÈRE J,ANDUEZA D,et al.Effects of condensed tannins in wrapped silage bales of sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) on *in vivo* and *in situ* digestion in sheep[J].Animal Feed Science and Technology,2010,160(1/2):23–38.

[15] 张利.肉羊的饲养价值与品种引进[J].养殖技术顾问,2013(6):23－23.

[16] 张宏福.动物营养参数与饲养标准[M].2 版.北京:中国农业出版社,2010.

[17] 杨保奎,刘信宝,沈益新,等.不同青贮饲料对肉牛生长性能及血清生化指标的影响[J].畜牧与兽医,2016,48(11):5–9.

[18] 刘学东,龚学明.微量元素硒与老年性白内障[J].微量元素与健康研究,1999,16(4):66–68.

[19] 邹志芳,李伯灵,符古雅,等. 铸铜石英砂对小鼠肺组织匀浆抗氧化酶系的影响[J].中华临床防治医学杂志,2002,2(1):18-19.

[20] ASTIZ M E,RACKOW E C,KAUFMAN B,et al.Relationship of oxygen delivery and mixed venous oxygenation to lactic acidosis in patients with sepsis and acute myocardial infarction[J].Critical Care Medicine,1988,16(7):655–658.

[21] KAMADA T,KAWANO S,SATO N,et al.Gastric mucosal blood distribution and its changes in the healing process of gastric ulcer[J].Gastroenterology,1983,84(6):1541–1546.

[22] 司方方,涂剑锋,刘天龙,等.四君子汤超微粉对脾虚小鼠总抗氧化能力和 NO 的影响[J].动物医学进展,2006,27(3):75–77.

[23] 王大愚,赵有璋.白萨福克羊和特克塞尔羊生理生化常值的测定[J].家畜生态学报,2007,28(6):54–57,72.

[24] 马森,王荣鑫,张才骏,等.青海高原家畜生理生化参数[J].青海畜牧兽医杂志,1994,23(4):36–41.

[25] 周明亮,陈明华,吴伟生,等.不同月龄白藏羊的生理生化指标测定[J].家畜生态学报,2015,36(3):53–57.

[26] 王高富,黄勇富,任航行,等.酉州乌羊血液生化指标测定及其相关性分析[J].中国农学通报,2013,29(35):47–52.

[27] 刘晓辉,杨明,宋东光,等.能源高粱不同品种叶片抗氧化物质动态研究[J].种子,2012,31(9):48–52.

[28] 李景伟.木薯渣对肉牛生产性能、屠宰性能、胴体品质及血清生化指标的影响[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2015.

[29] MAL M K.Amino acid in farm animal metabolism.Partion and consequences of imbalance[J].Swedish Journal of Agriculture Research,1988,18(4):191–193.

[30] WIER M L,SCOTT R E.Regulation of the terminal event in cellular differentiation:biological mechanisms of the loss of proliferative potential[J].The Journal of Cell Biology,1986,102(5):1955–1964.

[31] COMA J,ZIMMERMAN D R,CARRION D.Lysine requirement of the lactating sow determined by using plasma urea nitrogen as a rapid response criterion[J].Journal of Animal Science,1996,74(5):1056–1062.

[32] 赵国先,张正珊,王余丁,等.低蛋白日粮添加氨基酸对肉兔生产性能及血液生化指标的影响[J].饲料与畜牧,1997(2):9–11.

[33] 齐顺章,张曼夫,王悦先,等.动物生物化学[M].2 版.北京:北京农业出版社,1987:155–358.

[34] 史仍飞,袁海平,刘学,等.不同强度运动对大鼠脂质代谢的影响及机理探讨[J].中国运动医学杂志,2003,22(5):509–510.

[35] 高俊峰.发酵木薯渣对本地黑山羊生长性能、血液生化指标和养分消化代谢的影响[D].硕士学位论文.南宁:广西大学,2013.

[36] 郭辉.山羊在不同日粮结构下尿中嘌呤衍生物排出规律的研究[D].硕士学位论文.南宁:广西大学,2008.

[37] SONG K,SHAN A S,LI J P.Effect of different combinations of enzyme preparation supplemented to wheat based diets on growth and serum biochemical values of broiler chickens[J].Acta Zoonutrimenta Sinica,2008(4):25–29.

[38] 王秋颖.碱性磷酸酶特性及其应用的研究进展[J].中国畜牧兽医,2011,38(1):157–161.

[39] 孙敏,马飞.浅析碱性磷酸酶及其同工酶测定的临床意义[J].饮食保健,2017,4(16):12.

[40] 王石莹,闫素梅.碱性磷酸酶在动物骨骼代谢中的研究进展[J].饲料博览,2009(4):14–17.

[41] 崔树和,李香子,高青山,等.不同处理玉米秸秆饲料对延边黄牛生长性能、血清生化指标的影响[J].饲料工业,2015,36(23):39–44.

Effects of Packaging Forage Sweet Sorghum Silage on Performance and Serum Indexes of Mutton Sheep

ZHANG Xia[1,2] WANG Hucheng[1,2*] FU Xiaoyue[1,2] HOU Mingjie[1,2] SHANG Zhanhuan[3]

*Corresponding author, associate professor, E-mail: wanghuch@lzu.edu.cn （责任编辑 菅景颖）

（1. *Key Laboratory of Grassland Livestock Industry Innovation*, *Ministry of Agriculture*, *Lanzhou University*, *Lanzhou* 730020, *China*; 2.*State Key Laboratory of Pastoral Agriculture Ecosystem*, *College of Pastoral Agriculture Science and Technology*, *Lanzhou University*, *Lanzhou* 730020, *China*; 3. *College of Life Science*, *Lanzhou University*, *Lanzhou* 730000*, China*)

Abstract: The aim of this study was to investigate the effects of packaging forage sweet sorghum silage on growth performance and serum indexes of mutton sheep, in order to evaluate the feeding effect of packaging forage sweet sorghum silage for mutton sheep. Fourteen 3- to 4-month-old Dorper female sheep [(33.40±1.68) kg] and fourteen 3- to 4-month-old small-tailed *Han* female sheep [（25.70±1.50） kg] as test animals were divided into four groups according to roughage, including Dorper sheep sweet sorghum silage group (DG group, n=7), Dorper sheep corn silage group (DY group, n=7), small-tailed *Han* sheep sweet sorghum silage group (HG group, n=7) and small-tailed *Han* sheep corn silage group (HY group, n=7). The feeding experiment lasted for 3 months, and the body weight and blood samples were sampled on the morning of the day 30, 60 and 90 of experiment. The results showed that: 1) The average daily feed intakes (ADFI) and average daily gain (ADG) of corn silage group (DY group+HY group, n=14) were significantly higher than those of sweet sorghum silage group (DG group+HG group, n=14) (P<0.01). 2) The serum total antioxidant capacity (T-AOC) for Dorper sheep group (DG group+DY group, n=14) was significantly higher than that for small-tailed *Han* sheep during the whole experiment (P<0.05); on day 60 of experiment, the serum malondialdehyde (MDA) content for Dorper sheep group was significantly lower than that for small-tailed *Han* sheep (P<0.05); on day 90 of experiment, the serum superoxide dismutase (SOD) activity for sweet sorghum silage group was significantly higher than that of corn silage group (P<0.05); on day 90 of experiment, serum MDA content of HY group was significantly higher than that of DY and HG group(P<0.05); on day 90 of experiment, the serum SOD activity for sweet sorghum silage group was significantly lower than that on day 60 and 90 of experiment (P<0.05). 3) The breed effects were significant on the serum urea nitrogen (UN) content, glutamic-pyruvic transaminase (GPT) and alkaline phosphatase (AKP) activities on day 60, 90 and 60 of experiment (P<0.05), respectively; the

treatment effects were significant on the serum β-hydroxybutyrate (BHBA) content, GOT and AKP activities on day 90, 30 and 90, 60 of experiment ($P<0.05$), respectively; on day 90 of experiment, the serum GOT and AKP activities of HY group were significantly higher than those on day 30 of experiment ($P<0.05$). In summary, the performance of mutton sheep fed diets with packaging corn silage is superior to mutton sheep fed diets with packaging forage sweet sorghum silage. There will be existed in security risks when the higher ratio silage diets were fatten mutton sheep for a long time, but the packaging forage sweet sorghum silage may be more benefit to sheep liver health, and away from the "high blood fat" and reduce the chance for animal ketoacidosis than packaging corn silage.

Key words: forage sweet sorghum; corn; packaging silage; mutton sheep; performance; serum indexes